

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760337

研究課題名（和文）画像処理を用いた構造物の脆性損傷検知手法の開発

研究課題名（英文）Image processing method for detecting visible brittle fracture

研究代表者

西川 貴文（NISHIKAWA TAKAFUMI）

長崎大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50512076

研究成果の概要（和文）：本研究では、構造物に生じる部材の変形やクラック、剥離などの可視的な性状変化を定量的かつ精緻に把握するための画像解析手法を構築した。また、慣性計測と画像診断を統合的に利用したロバストな振動モニタリング・システムの構築を図った。

研究成果の概要（英文）：In this study, new robust image processing methods for quantitatively detecting visible damage and deformation of structures have been developed. A target of the methods is detecting cracks and exfoliations of concrete structures. Moreover, the image processing techniques have been combined with measurement of acceleration of structures to develop robust monitoring system for structural vibration.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：脆性損傷、画像解析、地震観測、損傷検知

1. 研究開始当初の背景

(1) コンクリート構造物の損傷検知

① 主要な構造材料として広く利用されているコンクリートは、非均質な脆性材料であり、引張強度が圧縮強度に比べ極端に小さいことから、クラックや剥離が発生しやすい。コンクリート構造物において、クラックや剥離はその応力状態を顕著に表す性状であり、その発生や進展状況を把握することは、構造物の損傷検知や健全性評価を行ううえで大きな意義がある。また、耐荷力や耐久性の低下、水密性や防水性の低下など、構造物の安全性や機能性を害する劣化の一因となり、構造物の美観を損なう原因ともなる。そのため、構

造物の維持・管理の観点においても、構造物の種類、使用目的や環境条件に応じて、クラックの幅、位置、長さなどの特徴量を定量的に把握し、学術的に裏付けされた補修や制御を適切に行うことが重要である。

② コンクリート構造では、その設計法が仕様規定型から性能規定型への移行に伴い、近年、クラックの発生・進展や破壊挙動を精緻に予測する数値解析手法が開発されている。特に個別要素法や剛体バネモデルに代表される離散型の解析手法は、材料の不連続現象を直接的に表現できることから、鉄筋コンクリート構造物におけるクラックの進展や終局挙

動を把握するための解析手法として注目されている。これらの解析手法の妥当性を検討し信頼性の高い性能予測を行うためには、材料試験や構造実験において材料の不連続現象を精緻に把握する必要がある。しかし、従来の計測手法には、空間的・時間的に分布・進展する材料の不連続現象を精度よく計測する手法がなく、これらの解析手法について定量的な検証は実施されてこなかった。

③ 上記のような工学的・学術的背景に対して、研究代表者は、画像処理によってコンクリート表面のクラックを頑健に抽出し、その特徴量であるクラック幅やクラック長、進展方向や分布状況を自動的に同定する手法の構築に取り組んできた。そこで得られた成果は、特に構造診断分野において関心と評価を得ており、実フィールドにおける手法の適用と拡張のフェーズへと移行する段階にあった。

(2) 慣性計測にもとづく構造センシング

BCP(Business Continuation Program)の浸透の中で、個々の建物の耐震機能の把握とリアルタイムな地震時対応が求められており、このような需要は益々強くなっている。本研究課題申請時、研究代表者は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において、研究チームの一員として、センシング技術と構造性能評価手法、モニタリングデータの活用方法の実装化へ向けて、時刻同期とデータ転送に主眼をおいた高精度センサの開発に取り組んでいた。そのケース・スタディとして、東京・豊洲にあるL字形の大規模な偏心・免震構造物に、多数の地震計を設置し、大規模な構造センシングシステムを構築した。このケース・スタディにおいては、振動データから推定した建物の変状・損傷の検証は、変位計により計測される数箇所の変位に拠ることを想定しているが、ここに研究代表者の画像処理に関する研究成果を活用することは大いに意義があると考えられた。また、損傷検知手法の検証のためのデータ取得のみならず、可視的な性状の把握・診断を含めた構造センシング手法の確立に寄与するものと期待した。

2. 研究の目的

本研究では、画像処理を応用し、建物に生じる部材の変形やクラック・剥離などの性状変化をリアルタイムに把握するための計測・解析システムの構築を目的とした。

(1) 様々な条件下で集録されたコンクリート構造の表面画像から、クラックや剥離などの可視的な損傷・変状をロバストに抽出し、そ

の特徴量を精緻に同定する画像処理手法を構築する。

(2) 次に、構築した画像処理手法を応用し、建物に生じる部材の変形やクラック・剥離などの性状変化をリアルタイムに把握するための計測・解析システムの構築を図る。特に、リアルタイムな画像処理を実現するための画像解析手法の構築に重点的に取り組む。

(3) 地震応答計測の対象建築物において計測される振動データと、画像情報から得られる構造物の変形や損傷などのデータを統合することで、より信頼性の高い地震損傷検知システムの構築を図る。

3. 研究の方法

(1) 脆性損傷検出のための画像処理手法

まず、研究代表者がこれまでに取り組んできた画像処理手法の精緻化に取り組んだ。CCDカメラや市販のデジタルカメラ等により様々な条件下で撮影されたコンクリート構造の表面の画像をサンプルとして、照度の差異や画像ノイズに左右されることなく、対象とする損傷を抽出するロバストな画像フィルタを構築した。フィルタの構築方法については、既往の研究で実績のある遺伝的プログラミングを応用した木構造状フィルタ自動生成システムを用いた。さらに、構築した画像フィルタの適用方法を工夫し、損傷検出処理後に残留するノイズを自動的に除去し、かつ不明瞭な損傷を局所的に追跡することで最検出する手法の構築に取り組んだ。検出した損傷については、画像解析によって、精緻かつ高速に最後にその代表的な特徴量を同定する。

(2) 低解像度画像処理による高速化

一般に、画像処理結果の精緻化を図るためには、高い解像度の画像が用いられるが、高解像度化に伴い処理データ量も増加するため、処理時間が長時間化し、リアルタイムに精緻な画像処理結果を得ることは容易でない。本研究では、即時的な処理が求められる計測項目について、低解像度画像に特化した画像解析手法の構築を図った。

(3) 画像集録システムの構築

精緻な画像処理を行うために品質の高い画像を集録するには、空間・時間解像度の高い集録システムを利用する必要がある。その一方で、地震や風などの外乱による構造振動のデータを取得するためには、長時間の集録が必要となる。本研究では、高い空間・時間解像度を有するCCDカメラと、空間分解能は低いものの時間分解能が高いCCDカメラを併用

することとした。後者のカメラによって長期的な集録を実現し、前述の低解像度画像処理によって対象の変状を検知し、その処理結果をもとに前者のカメラを制御するシステムの構築を図った。この集録システムにより、高密度な精細画像を長期にわたり集録することが可能となる。

(4) 画像処理による変状の時間変化の把握

コンクリート構造におけるひび割れの進展から破壊に至る過程を記録した時系列画像から、ひび割れを検出するための画像処理手法を構築する。具体的なひび割れの発生・進展を検出する手法としては、まず、最適化手法を応用し単一画像からひび割れの空間的情報を抽出するための最適フィルタを設計する。次いで空間的情報を従来の動画画像処理から得られる情報と統合することで、画像から「既存のひび割れ部」、「ひび割れの進展部」および「新たに発生したひび割れ部」を特定するための、時空間クラスタリング処理の構築に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 脆性損傷検出のための画像処理手法

様々な状況下で集録された構造物表面の画像から、安定して脆性損傷を抽出する画像処理手法の構築を目的とし、以下のような知見と成果を得た。

① 複数枚の画像を対象とした木構造状画像フィルタ生成システムにより、コンクリート構造物の表面画像から、撮影条件や表面の状態に左右されずに損傷の抽出が可能な画像フィルタを構築した（図1、図2）。

② 多重解像度画像の重畳処理によって対象画像領域を抽出する画像処理手法を構築した。これによって、画像フィルタの単一処理では抽出できない不明瞭な損傷を安定して良好に抽出することが可能となった（図3）。

③ 顕著な脆性損傷であるクラックについて、その特徴量である方向と幅を精緻に把握する画像解析手法を構築した。本手法による測定精度を検証した結果、画像上における目視と同等の精度で特徴量を算出できることを確認した（表1）。

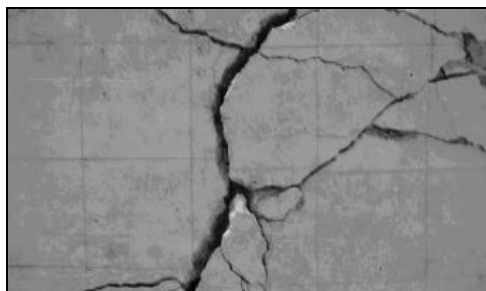


図1 コンクリート・クラックの表面画像

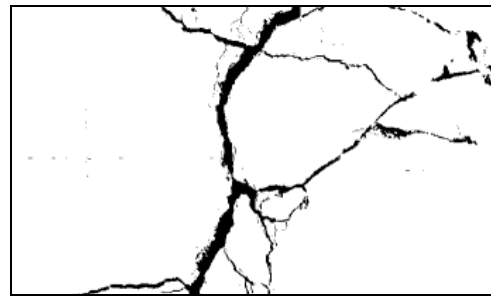


図2 図1画像のフィルタ適用結果

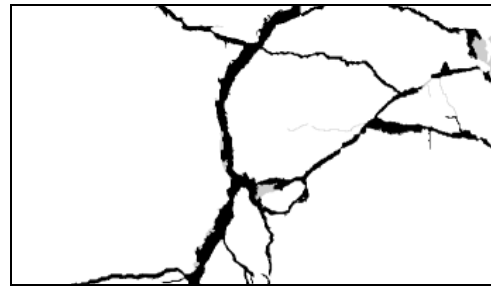


図3 図1画像の損傷部の抽出処理結果

表1 クラック幅同定 [mm]

計測点	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
<A> 画像解析	0.19	0.42	0.32	0.50	0.47
 目視測定	0.25	0.45	0.35	0.45	0.40
A-B	-0.06	-0.03	-0.03	+0.05	+0.07
計測点	No.6	No.7	No.8	No.9	No.1
<A> 画像解析	0.76	1.03	0.87	0.77	0.86
 目視測定	0.75	1.05	0.90	0.75	0.95
A-B	+0.01	-0.02	-0.03	+0.02	-0.09

(2) 低解像度画像処理による高速化

本研究で構築した低解像度画像処理アルゴリズムのプロセス・フローを図4に示す。画像処理によって対象画像領域を抽出する場合、一般的には画素グループの輝度分布や幾何形状をもとにセグメントの識別を行うのが一般的である。これに対して、本研究で構築した画像処理手法は、低解像度画像が輝度分布と幾何形状の正確性が低下することに配慮し、対象領域以外の背景画像をモルフォロジー処理によって識別し、画像差分をとることで対象領域を抽出する手法をとった。これによって、従来の画像処理手法では安定した抽出が困難な低解像度画像から、目的の画素領域を抽出することが可能である。

また、低解像度画像処理の活用は本研究で対象とした構造物の振動モニタリングにとどまらず、例えば道路面の点検にも非常に有用である。現在の我が国での一般的な道路点検

の方法では、データの集録、回収、分析のために長時間を要する。今後の道路モニタリングを考えるうえで、ITS 技術の活用は非常に有用であり、これを活用することでデータの集録、回収、分析のリアルタイム化が期待できる。一般に現在の車載カメラの画像は解像度が低いため画像認識には不利であるが、低解像度画像での高精度な画像処理手法が確立されれば、処理効率やデータ保管の面で有用であり、頻繁かつ広範囲の点検の実現が期待できる。

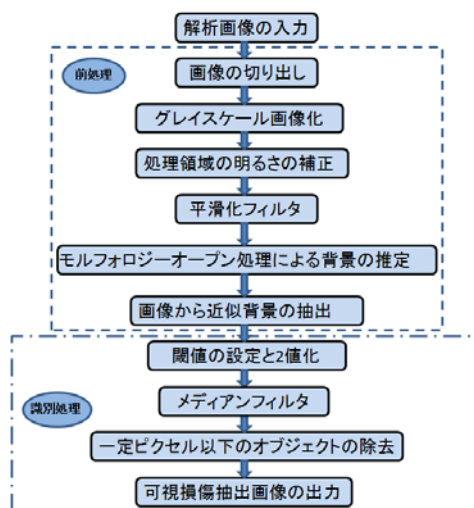


図4 低解像度画像処理のプロセス

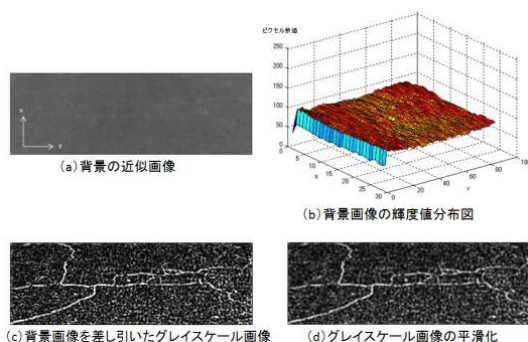


図5 モルフォロジー処理による背景抽出

(3) 画像処理による変状の時間変化の把握

加速度計を用いた橋梁部材の振動計測に画像解析による変位推定を統合した構造センシング手法の確立を図った。当初は計画していなかった橋梁部材の可視振動性状の画像認識について、実橋梁の振動モニタリングと併せて手法のプロotypingに取り組んだ。対象とした橋梁は風による部材の励起振動が顕著であり、長期的な計測が必要であったが、対象部材の規模および現地の状況から、部材変位を直接的に計測することが不可能であった。そこで、振動時に撮影したシーケンス画像から部材の変位を画像解析によって推定した。振動計測結果から対象とする振動モードを定めて求め

た振幅推定値と画像解析によって推定した変位を比較し、同様の部材変形を認識していることが確かめられた。その結果、一般的に空力励起振動が発生する風環境とは異なる条件下で励起振動が発生する現象を慣性計測と画像集録の双方から捉えることに成功した。今後、データの集録を継続しながら現象のメカニズムの解明を図り、その成果をまとめ、報告する予定である。



図6 構造部材振動の画像認識

本研究では、構造物の可視的な性状と振動データを統合した構造センシング手法の確立を視野に入れ、建物に生じる部材の変形やクラック・剥離などの性状変化をリアルタイムに把握するための計測・解析システムの構築を目的とした。振動モニタリングに関しては、初年度に高密度な地震計測ネットワークの構築を完了し、常時微動および強震の集録を継続的に実施した。

画像集録システムに関しては、高精度 CCD カメラによる長期集録を実現するため、データの効率的な管理のための解析処理手法の構築に取り組んだ。特に、画像データの集録を継続しながら、着目する特徴量のみを検知・抽出する画像解析手法の構築に取り組んだ。

今後は、脆性損傷の画像検知については、期間中に構築したアルゴリズムを実構造物への実装へ適用し、また、その頑健性の向上を図り、早期の実用化を意識した研究に新たに取り組みたい。本研究を遂行するなかで、現在、可視情報の活用に対する社会的なニーズを改めて認識することができた。今後は、画像解析により検知された可視振動性状の実環境における精度検証と、慣性計測や固定点を有する直接計測を用いた構造モニタリングとの統合化に注力する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Takafumi Nishikawa, Junji Yoshida, Toshiyuki Sugiyama, Yoza Fujino, Concrete Crack Detection By Multiple Sequential Image Filtering, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 査読有, Vol. 27, 2012, pp. 27-47

[学会発表] (計 3 件)

- ① 紺野克昭、西川貴文、藤野陽三、阿部雅人、東北地方太平洋沖地震における芝浦工業大学豊洲キャンパスの地震観測記録、日本建築学会大会 (関東)、平成 23 年 8 月 24 日、早稲田大学
- ② 水橋光希、西川貴文、長山智則、藤野陽三、紺野克昭、建物の高密度振動観測システムと観測情報のリアルタイム的活用法、日本土木学会年次講演会、平成 23 年 9 月 8 日、愛媛大学
- ③ 西川貴文、桐原慎平、中村聖三、低解像度画像を用いた路面の可視損傷認識、日本土木学会西部支部研究発表会、平成 24 年 3 月 3 日、鹿児島大学

[その他]

ホームページ等

地震観測システムページ：

<http://www.eq.db.shibaura-it.ac.jp/Mensin/index.shtml>

(暫定版のため、現時点では URL の公開は控えたく存じます。)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西川 貴文 (NISHIKAWA TAKAFUMI)
長崎大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：50512076

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし